PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Sección A9
Propiedades petrofísicas

A9.1 Introducción 2

A9.2 Resistividad 2
A9.2.1 Introducción 2
A9.2.2 Resistividad en salmueras de sal única de formiatos 2
A9.2.3 Resistividad en salmueras de formiatos mezcladas 2
A9.2.4 Resistividad: dependencia de la temperatura 2

A9.3 Índice de hidrógeno 6

A9.4 Velocidad sónica 13

Referencias 13

El Manual técnico de formiatos se actualiza de manera continua.
Para verificar si existe una versión más reciente de esta sección, visite el sitio
www.salmuerasdeformiato.com/manual



Specialty Fluids

A9.1 Introducción

Se ha considerado que el perfilaje con salmueras de formiatos es difícil para la interpretación del registro, ya que los fluidos de perforación basados en formiatos y los filtrados de las salmueras de formiatos tienen propiedades que difieren significativamente de los lodos convencionales basados en el petróleo y el agua [1][2][3]. Entre ellas, se incluyen la resistividad, propiedades nucleares y densidad.

A9.2 Resistividad

A9.2.1 Introducción

La resistividad eléctrica (también llamada resistencia eléctrica específica) es una medición de la oposición que presenta un material al flujo de la corriente eléctrica. La resistividad baja indica que un material acepta fácilmente el movimiento de las cargas eléctricas. La unidad SI de resistividad eléctrica es el ohmio-metro (ohm m).

La resistividad eléctrica ρ (rho) de un material usualmente se define por lo siguiente:

$$\rho = \frac{RA}{l} \qquad (1)$$

donde

ρ = resistividad estática (ohm m)

R = resistencia eléctrica del espécimen (ohm)

l = longitud del espécimen (m)

A = área transversal del espécimen (m^2)

La resistividad eléctrica de los fluidos de perforación y terminación es un parámetro importante para los perfiladores.

Las salmueras de formiatos contienen cantidades altas de sales y, por lo tanto, tienen conductividad muy alta y resistividad baja.

A9.2.2 Resistividad en salmueras de sal única de formiatos

Los valores de resistividad de las salmueras de sal única de formiatos de sodio, de potasio y de cesio como función de la concentración de la sal a 15.6°C (60°F) se muestra en la figura 1 y la tabla 1. Todos los datos se basan en mediciones realizadas en el Westport Technology Center International, en Houston, y en el Cabot Operations and Technical Support Laboratory, en Aberdeen, Reino Unido [4].

Es interesante señalar que la resistividad de la salmueras de sal única de formiato es mínima cuando la concentración es media. En el extremo alto de la escala de concentración (y también en el extremo bajo), la resistividad es significativamente más alta.

A9.2.3 Resistividad en salmueras de formiatos mezcladas

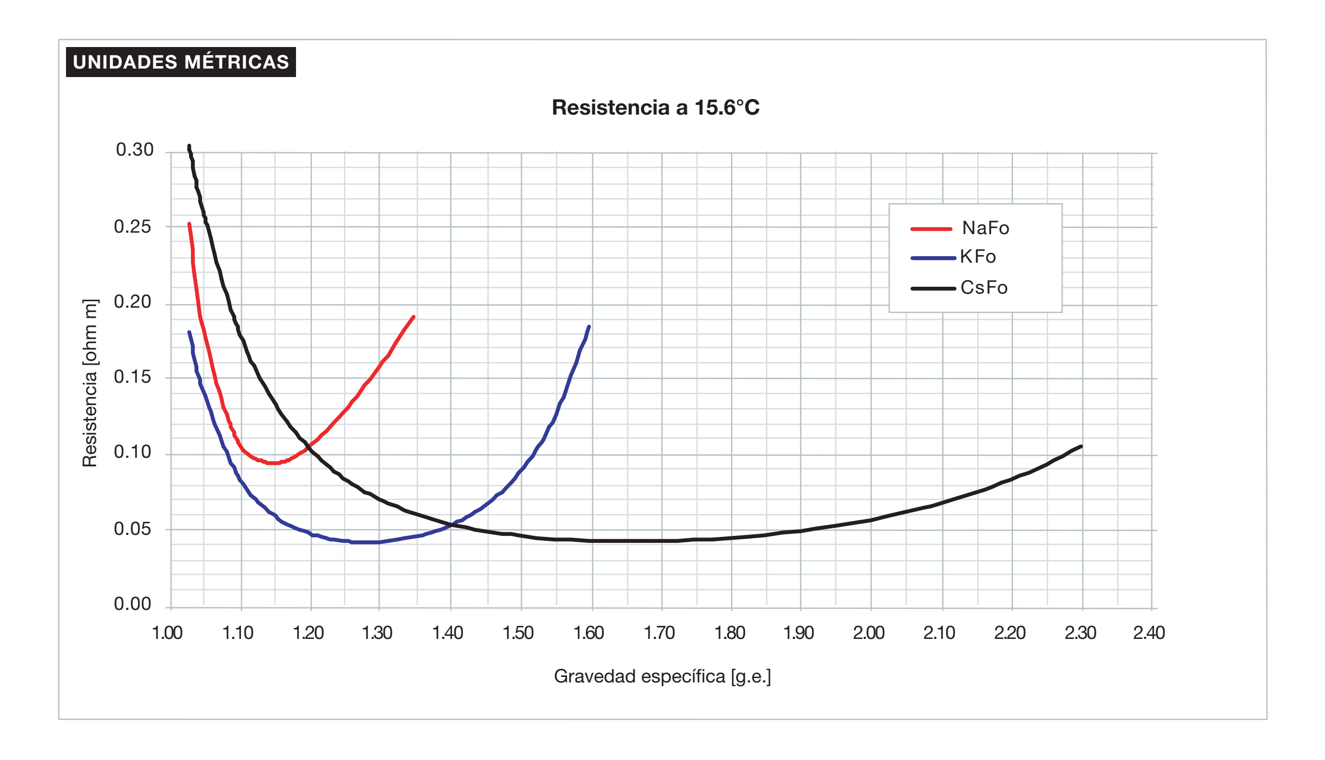
Las salmueras de formiatos de potasio y de cesio mezcladas normalmente se componen de dos salmueras saturadas (mezcla estándar) o una salmuera de formiato de cesio saturada y otra de formiato de potasio levemente diluida (mezcla diluida, usada a veces en el invierno). Las mediciones de resistividad en el Westport Technology Center International, en Houston, y en el Cabot Operations and Technical Support Laboratory, en Aberdeen, Reino Unido [4], han demostrado que la resistividad es una función lineal de la densidad del fluido en una mezcla de formiatos de potasio y de cesio. La resistividad predicha a 15.6°C (60°F) para una mezcla estándar y otra diluida se muestran en la figura 2.

Por lo tanto, es fácil predecir las resistividades de salmueras mezcladas al trazar una recta entre las densidades de las salmueras puras que se mezclen. Es posible elaborar predicciones similares para mezclas de formiatos de potasio y de sodio y mezclas de formiatos de sodio y de cesio.

A9.2.4 Resistividad: dependencia de la temperatura

En salmueras de formiatos, al igual que en otras disoluciones acuosas de sales, la resistividad disminuye a medida que la temperatura aumenta.

Se ha medido la resistividad de la mezcla de formiatos de potasio y de cesio (mezcla estándar de 1.92 g.e. / 16.0 ppg) como función de la dilución y temperatura. Los resultados se muestran gráficamente en la figura 3. Como se puede apreciar en ella, la temperatura tiene mayor efecto en la resistividad conforme aumenta la dilución del fluido. El efecto de la temperatura en la resistividad también es mayor con temperaturas bajas, no con temperaturas altas.



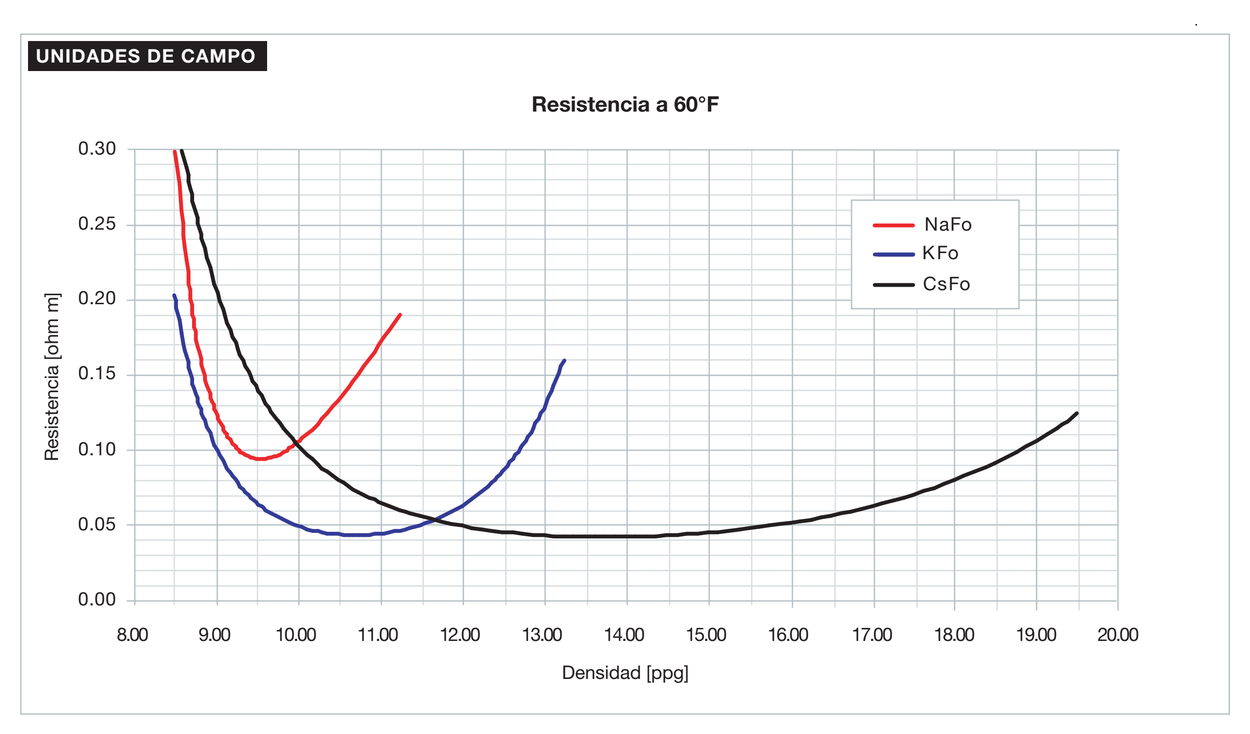


Figura 1 Resistividad de las salmueras de sal única de formiatos de sodio, de potasio y de cesio como función de la concentración del formiato en condiciones estándar (15.6°C [60°F]).

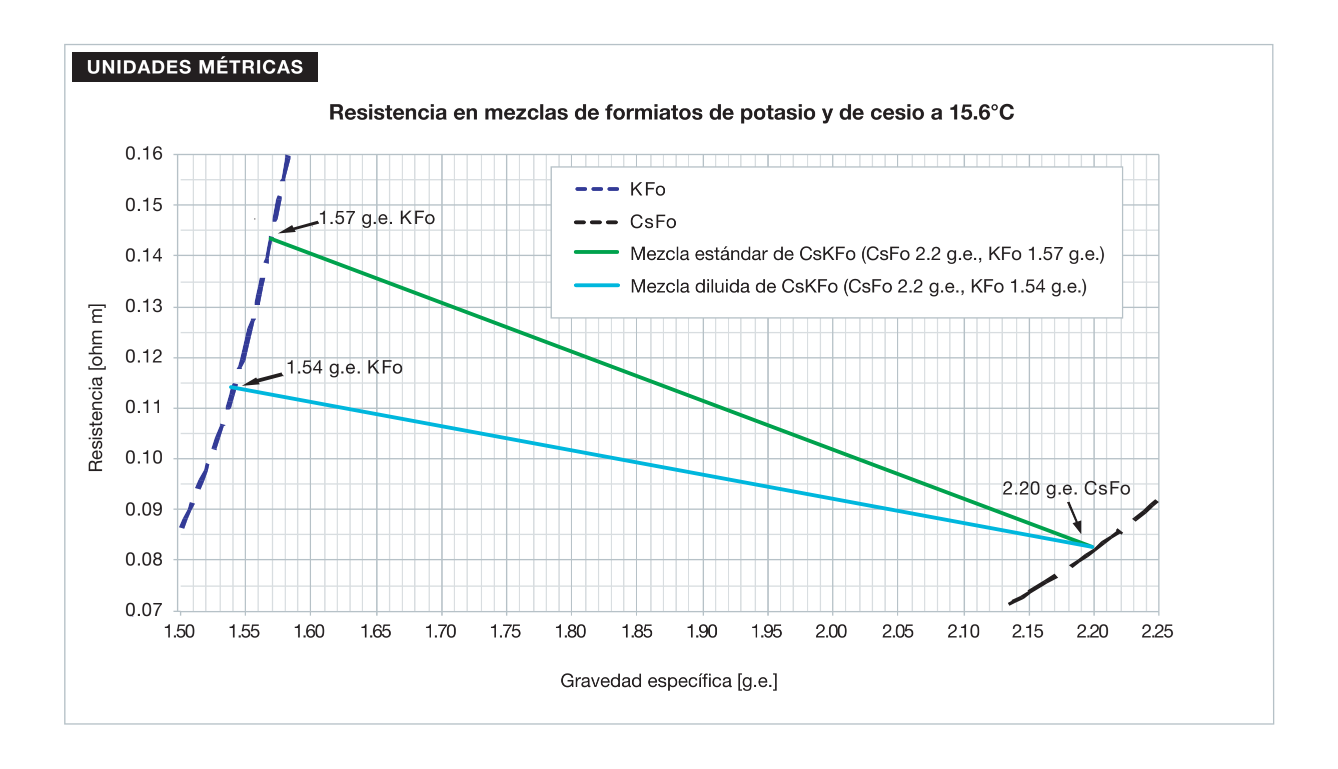
Tabla 1 Resistividad de las salmueras de sal única de formiatos de sodio, de potasio y de cesio en condiciones estándar (15.6°C [60°F]).

UNIDADES MÉTRICAS

g.e.	Resistividad [ohm m]		
	NaFo	KFo	CsFo
1.03	0.252	0.180	0.303
1.05	0.181	0.140	0.259
1.10	0.107	0.084	0.182
1.15	0.093	0.059	0.134
1.20	0.104	0.047	0.104
1.25	0.127	0.042	0.083
1.30	0.156	0.041	0.069
1.35	0.190	0.044	0.060
1.40		0.051	0.053
1.45		0.065	0.048
1.50		0.086	0.045
1.55		0.123	0.043
1.60		0.183	0.042
1.65			0.041
1.70			0.041
1.75			0.042
1.80			0.044
1.85			0.046
1.90			0.048
1.95			0.052
2.00			0.056
2.05			0.061
2.10			0.067
2.15			0.074
2.20			0.082
2.25			0.092
2.30			0.104

UNIDADES DE CAMPO

Densidad [ppg]	Resistividad [ohm m]		
	NaFo	KFo	CsFo
8.50	0.309	0.202	0.334
8.75	0.183	0.140	0.261
9.00	0.127	0.103	0.209
9.25	0.102	0.079	0.171
9.50	0.093	0.065	0.142
9.75	0.095	0.055	0.120
10.00	0.104	0.049	0.103
10.25	0.116	0.045	0.090
10.50	0.132	0.043	0.080
10.75	0.150	0.042	0.071
11.00	0.169	0.043	0.065
11.25	0.190	0.046	0.059
11.50		0.049	0.055
11.75		0.054	0.052
12.00		0.062	0.049
12.25		0.072	0.046
12.50		0.085	0.045
12.75		0.103	0.043
13.00		0.127	0.042
13.25		0.159	0.042
13.50			0.041
13.75			0.041
14.00			0.041
14.25			0.042
14.50			0.042
14.75			0.043
15.00			0.044
15.25			0.045
15.50			0.047
15.75			0.049
16.00			0.051
16.25			0.053
16.50			0.055
16.75			0.058
17.00			0.062
17.25			0.065
17.50			0.069
17.75			0.074
18.00			0.079
18.25			0.085
18.50			0.091
18.75			0.098
19.00			0.105
19.25			0.114
19.50			0.123



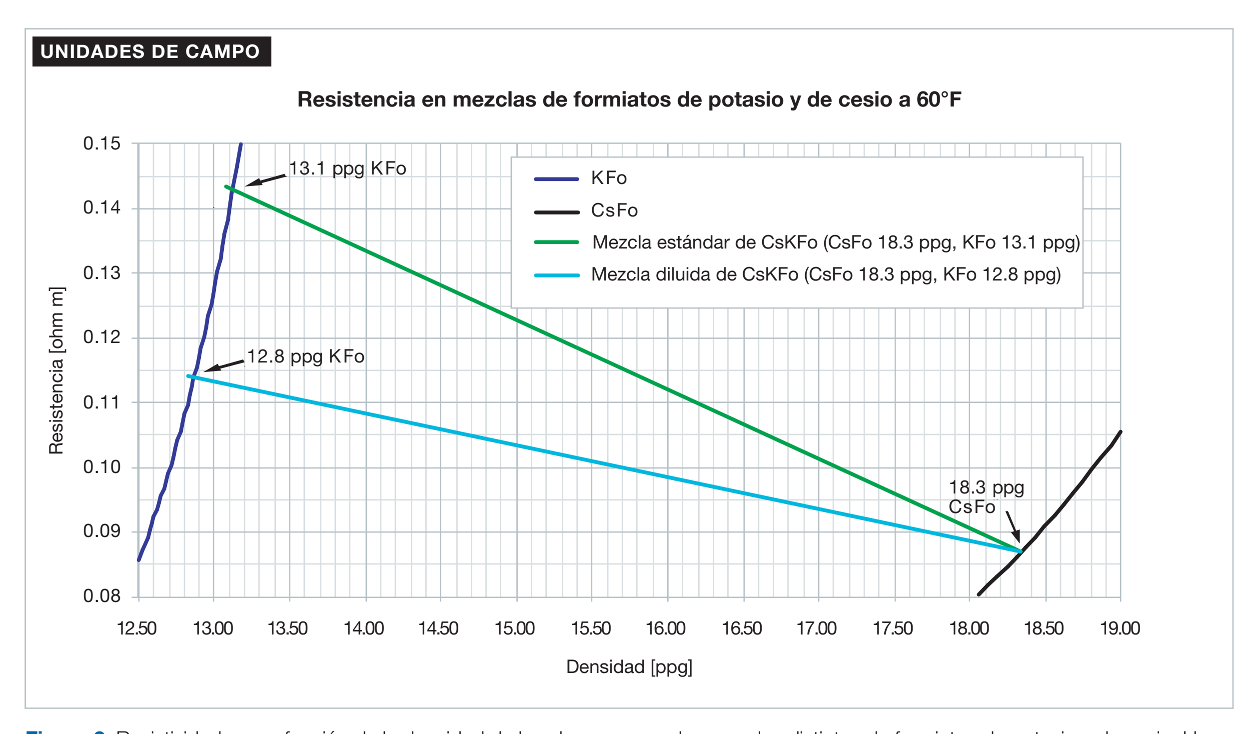


Figura 2 Resistividad como función de la densidad de la salmuera para dos mezclas distintas de formiatos de potasio y de cesio. Una de las mezclas es una mezcla estándar, basada en una salmuera de formiato de potasio de 1.57. g.e. / 13.1 ppg y una salmuera de formiato de cesio de 2.20 g.e. / 18.3 ppg. La otra es una mezcla diluida (formiato de potasio de 1.54 g.e. / 12.8 ppg y formiato de cesio de 2.20 g.e. / 18.3 ppg), de uso frecuente en el invierno.

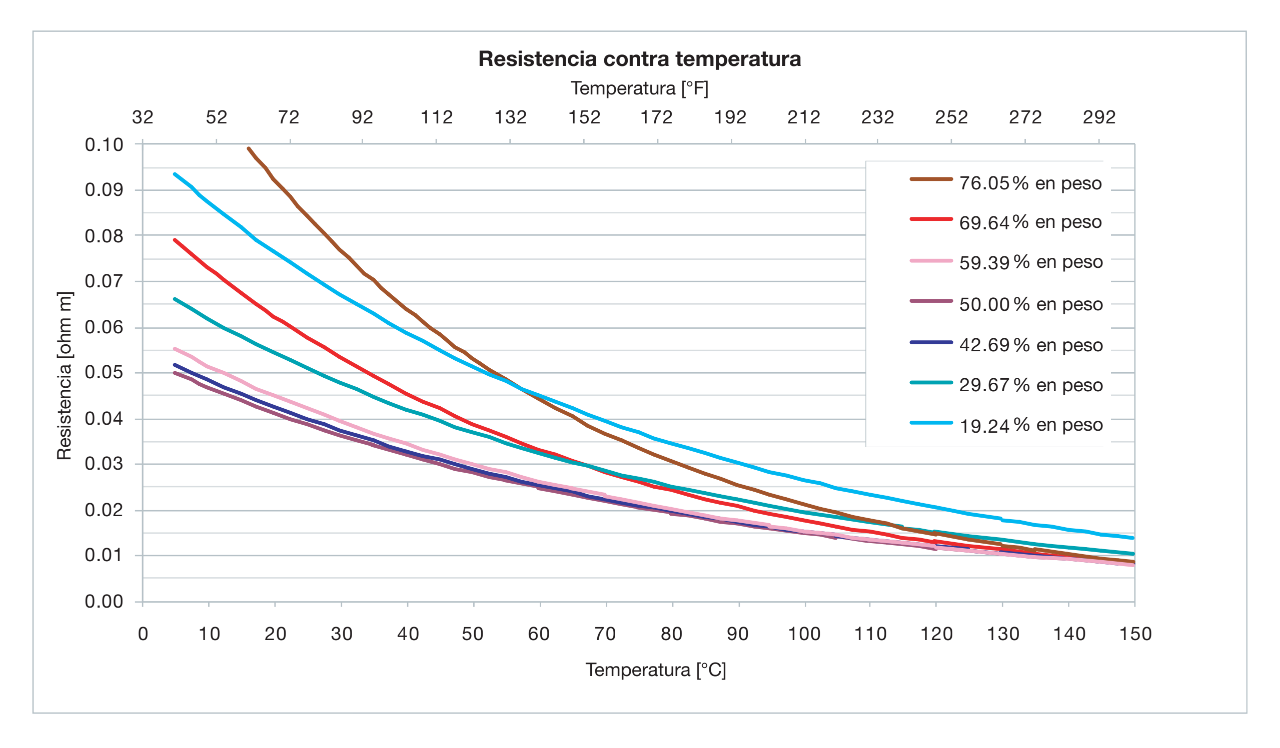


Figura 3 Resistividad como función de la temperatura para varias diluciones de una salmuera de formiatos de potasio y de cesio de 1.92 g.e. / 16.0 ppg.

A9.3 Índice de hidrógeno

El índice de hidrógeno (HI) es una propiedad importante en el registro de porosidad de neutrones. El índice de hidrógeno de un material se define como el número de átomos de hidrógeno por volumen unitario dividido entre el número de átomos de hidrógeno por volumen unitario de agua pura a 23.9°C (75°F).

El índice de hidrógeno de una salmuera con una concentración dada (densidad) se puede calcular cuando se conoce la composición exacta de la salmuera. El índice de hidrógeno como función de la densidad de la salmuera de sal única de formiatos de sodio, de potasio y de cesio se presenta en la tabla 1 (sistema métrico) y la tabla 2 (unidades de campo). Estos valores se calcularon a partir de los datos de composición que se proporcionan en la sección A2, Densidad de la salmuera y datos de PVT.

El índice de hidrógeno para mezclas de salmueras de formiatos de potasio y de cesio se puede calcular fácilmente a partir del índice de hidrógeno de las dos salmueras que se mezclan, conforme a la relación lineal siguiente:

$$HI_{CsKFo} = HI_{KFo} \times \frac{(HI_{CsKFo} - HI_{KFo}) \cdot (\sigma_{CsKFo} - \sigma_{KFo})}{(\sigma_{CsFo} - \sigma_{KFo})}$$

Donde

HI_{CsKFo} = HI de las salmueras mezcladas
HI_{CsFo} = HI de la salmuera de CsFo estándar
HI_{KFo} = HI de la salmuera de KFo estándar
σ_{CsKFo} = Densidad (g.e.) de las salmueras mezcladas
σ_{CsFo} = Densidad (g.e.) de la salmuera de CsFo estándar
σ_{KFo} = Densidad (g.e.) de la salmuera de KFo estándar

La ecuación es válida para todas las unidades de densidad, si bien es necesario que se usen sistemáticamente. El índice de hidrógeno de las dos mezclas de salmueras de formiatos de potasio y cesio más usadas se enumeran en las tablas 3 a 6 con unidades métricas y de campo.

Tabla 1 UNIDADES MÉTRICAS. Índice de hidrógeno de salmueras de sal única de formiatos de sodio, de potasio y de cesio como función de la densidad de la salmuera.

Concentración de la salmuera		Formiato de sodio		Formiato de potasio		Formiato de cesio	
g.e.	Densidad [kg/l]	% en peso de NaFo	Índice de hidrógeno	% en peso de KFo	Índice de hidrógeno	% en peso de CsFo	Índice de hidrógeno
1.00	0.999	0.00	1.000	0.00	1.000	0.00	1.000
1.02	1.019	3.26	0.991	3.46	0.988	2.53	0.996
1.04	1.039	6.43	0.982	6.84	0.976	5.07	0.990
1.06	1.059	9.53	0.972	10.15	0.964	7.55	0.984
1.08	1.079	12.58	0.962	13.39	0.951	9.97	0.978
1.10	1.099	15.57	0.951	16.56	0.937	12.32	0.971
1.12	1.119	18.51	0.940	19.67	0.923	14.61	0.965
1.14	1.139	21.39	0.928	22.71	0.909	16.84	0.958
1.16	1.159	24.22	0.916	25.68	0.894	19.02	0.951
1.18	1.179	27.00	0.904	28.60	0.879	21.14	0.943
1.20	1.199	29.73	0.890	31.45	0.863	23.20	0.936
1.22	1.219	32.42	0.877	34.24	0.847	25.20	0.928
1.24	1.239	35.06	0.863	36.98	0.831	27.16	0.920
1.26	1.259	37.66	0.848	39.66	0.814	29.05	0.912
1.28	1.279	40.22	0.833	42.28	0.797	30.90	0.904
1.30	1.299	42.74	0.818	44.85	0.779	32.70	0.896
1.32	1.319	45.22	0.802	47.37	0.762	34.45	0.888
1.34	1.339	47.67	0.786	49.84	0.744	36.15	0.880
1.36	1.359	50.09	0.769	52.26	0.725	37.80	0.872
1.38	1.379			54.63	0.707	39.41	0.864
1.40	1.399			56.95	0.688	40.97	0.855
1.42	1.419			59.23	0.669	42.49	0.847
1.44	1.439			61.47	0.650	43.96	0.839
1.46	1.459			63.66	0.630	45.40	0.831
1.48	1.479			65.81	0.610	46.79	0.823
1.50	1.499			67.93	0.590	48.15	0.814
1.52	1.519			70.00	0.570	49.47	0.806
1.54	1.539			72.04	0.549	50.75	0.798
1.56	1.559			74.05	0.529	51.99	0.790
1.58	1.578			76.02	0.507	53.20	0.782
1.60	1.598			77.96	0.486	54.38	0.774
1.62	1.618					55.52	0.766
1.64	1.638					56.64	0.758
1.66	1.658					57.72	0.750
1.68	1.678					58.77	0.743
1.70	1.698					59.80	0.735
1.72	1.718					60.80	0.727
1.74	1.738					61.78	0.720
1.76	1.758					62.73	0.712
1.78	1.778					63.65	0.704
1.80	1.798					64.56	0.697
1.82	1.818					65.44	0.689
1.84	1.838					66.31	0.682
1.86	1.858					67.15	0.674
1.88	1.878					67.98	0.667
1.90	1.898					68.79	0.659
1.92	1.918					69.59	0.652
1.94	1.938					70.37	0.644
1.96	1.958					71.14	0.636
1.98	1.978					71.90	0.628
2.00	1.998					72.65	0.621
2.02	2.018					73.38	0.613
2.04	2.038					74.11	0.605
2.06	2.058					74.83	0.596
2.08	2.078					75.55	0.588
2.10	2.098					76.26	0.580
2.12	2.118					76.97	0.571
2.14	2.138					77.67	0.562
2.16	2.158					78.37	0.553
2.18	2.178					79.07	0.543
2.20	2.198					79.78	0.534
2.22	2.218					80.48	0.524
2.24	2.238					81.19	0.513
2.26	2.258					81.90	0.503
2.28	2.278					82.61	0.492
2.30	2.298					83.34	0.480
2.32	2.318					84.07	0.468
2.34	2.338					84.81	0.456
2.36	2.358					85.56	0.443
2.38	2.378					86.31	0.430
2.40	2.398					87.09	0.416

Tabla 2 UNIDADES DE CAMPO. Índice de hidrógeno de salmueras de sal única de formiatos de sodio, de potasio y de cesio como función de la densidad de la salmuera.

Concentración de la salmuera		Formiato de sodio		Formiato de potasio		Formiato de cesio	
Densidad [ppg]	Densidad [kg/l]	% en peso de NaFo	Índice de hidrógeno	% en peso de KFo	Índice de hidrógeno	% en peso de CsFo	Índice de hidrógeno
8.34	0.999	0.00	1.000	0.00	1.000	0.00	1.000
8.40	1.007	1.25	0.997	1.31	0.996	0.91	0.999
8.60	1.031	5.09	0.986	5.41	0.982	4.00	0.992
8.80	1.054	8.84	0.975	9.41	0.967	7.00	0.986
9.00	1.078	12.50	0.962	13.31	0.951	9.90	0.978
9.20	1.102	16.08	0.949	17.11	0.935	12.72	0.970
9.40	1.126	19.59	0.936	20.81	0.918	15.45	0.962
9.60	1.150	23.01	0.922	24.42	0.901	18.09	0.954
9.80	1.174	26.37	0.907	27.94	0.882	20.66	0.945
10.00	1.198	29.65	0.891	31.37	0.864	23.14	0.936
10.20	1.222	32.87	0.875	34.71	0.844	25.54	0.927
10.40	1.246	36.03	0.858	37.98	0.825	27.86	0.918
10.60	1.270	39.12	0.840	41.16	0.804	30.11	0.908
10.80	1.294	42.16	0.822	44.26	0.784	32.29	0.898
11.00	1.318	45.14	0.803	47.29	0.762	34.39	0.889
11.20	1.342	48.08	0.783	50.25	0.741	36.43	0.879
11.40	1.366	50.96	0.763	53.13	0.719	38.40	0.869
11.60	1.390			55.95	0.696	40.30	0.859
11.80	1.414			58.70	0.674	42.14	0.849
12.00	1.438			61.39	0.650	43.91	0.839
12.20	1.462			64.02	0.627	45.63	0.830
12.40	1.486			66.59	0.603	47.29	0.820
12.60	1.510			69.10	0.579	48.90	0.810
12.80	1.534			71.56	0.554	50.45	0.800
13.00	1.558			73.97	0.529	51.94	0.790
13.20	1.582			76.34	0.504	53.39	0.781
13.40	1.606					54.80	0.771
13.60	1.630					56.15	0.762
13.80	1.654					57.46	0.752
14.00	1.678					58.73	0.743
14.20	1.702					59.96	0.734
14.40	1.726					61.15	0.725
14.60	1.749					62.31	0.715
14.80	1.773					63.43	0.706
15.00	1.797					64.52	0.697
15.20	1.821					65.58	0.688
15.40	1.845					66.61	0.679
15.60	1.869					67.61	0.670
15.80	1.893					68.59	0.661
16.00	1.917					69.55	0.652
16.20	1.941					70.49	0.643
16.40	1.965					71.41	0.634
16.60	1.989					72.31	0.624
16.80	2.013					73.20	0.615
17.00	2.037					74.08	0.605
17.20	2.061					74.94	0.595
17.40	2.085					75.80	0.585
17.60	2.109					76.65	0.575
17.80	2.133					77.49	0.564
18.00	2.157					78.33	0.553
18.20	2.181					79.18	0.542
18.40	2.205					80.02	0.530
18.60	2.229					80.87	0.518
18.80	2.253					81.72	0.506
19.00	2.277					82.58	0.492
19.20	2.301					83.44	0.479
19.40	2.325					84.32	0.464

Tabla 3 UNIDADES MÉTRICAS. Índice de hidrógeno para mezclas estándar de formiatos de potasio y de cesio, compuestas de formiato de potasio de 1.57 g.e. y formiato de cesio de 2.20 g.e.

g.e.	Densidad [kg/l]	% en peso de KFo	% en peso de CsFo	% en peso de H_2O	Índice de hidrógeno
1.57	1.568	75.04	0.00	24.96	0.518
1.58	1.578	73.38	1.76	24.86	0.518
1.59	1.588	71.74	3.50	24.75	0.519
1.60	1.598	70.13	5.22	24.65	0.519
1.61	1.608	68.53	6.92	24.55	0.519
1.62	1.618	66.95	8.60	24.45	0.519
1.63	1.628	65.39	10.25	24.35	0.520
1.64	1.638	63.85	11.89	24.26	0.520
1.65	1.648	62.33	13.51	24.16	0.520
1.66	1.658	60.83	15.10	24.06	0.520
1.67	1.668	59.35	16.68	23.97	0.521
1.68	1.678	57.88	18.24	23.88	0.521
1.69	1.688	56.43	19.78	23.79	0.521
1.70	1.698	55.00	21.30	23.70	0.521
1.71	1.708	53.59	22.81	23.61	0.522
1.72	1.718	52.19	24.30	23.52	0.522
1.73	1.728	50.80	25.76	23.43	0.522
1.74	1.738	49.44	27.22	23.35	0.522
1.75	1.748	48.09	28.65	23.26	0.523
1.76	1.758	46.75	30.07	23.18	0.523
1.77	1.768	45.43	31.48	23.09	0.523
1.78	1.778	44.12	32.87	23.01	0.523
1.79	1.788	42.83	34.24	22.93	0.524
1.80	1.798	41.56	35.60	22.85	0.524
1.81	1.808	40.29	36.94	22.77	0.524
1.82	1.818	39.04	38.27	22.69	0.524
1.83	1.828	37.81	39.58	22.61	0.525
1.84	1.838	36.59	40.88	22.53	0.525
1.85	1.848	35.38	42.16	22.46	0.525
1.86	1.858	34.18	43.43	22.38	0.525
1.87	1.868	33.00	44.69	22.31	0.526
1.88	1.878	31.83	45.94	22.23	0.526
1.89	1.888	30.67	47.17	22.16	0.526
1.90	1.898	29.53	48.39	22.09	0.526
1.91	1.908	28.39	49.59	22.02	0.527
1.92	1.918	27.27	50.78	21.95	0.527
1.93	1.928	26.16	51.96	21.88	0.527
1.94	1.938	25.06	53.13	21.81	0.527
1.95	1.948	23.97	54.29	21.74	0.528
1.96	1.958	22.90	55.43	21.67	0.528
1.97	1.968	21.83	56.57	21.60	0.528
1.98	1.978	20.78	57.69	21.54	0.528
1.99	1.988	19.73	58.80	21.47	0.529
2.00	1.998	18.70	59.90	21.40	0.529
2.01	2.008	17.68	60.98	21.34	0.529
2.02	2.018	16.66	62.06	21.28	0.529
2.03	2.028	15.66	63.13	21.21	0.530
2.04	2.038	14.67	64.18	21.15	0.530
2.05	2.048	13.68	65.23	21.09	0.530
2.06	2.058	12.71	66.26	21.03	0.530
2.07	2.068	11.74	67.29	20.97	0.531
2.08	2.078	10.79	68.31	20.91	0.531
2.09	2.088	9.84	69.31	20.85	0.531
2.10	2.098	8.90	70.31	20.79	0.531
2.11	2.108	7.98	71.30	20.73	0.532
2.12	2.118	7.06	72.27	20.67	0.532
2.13	2.128	6.15	73.24	20.61	0.532
2.14	2.138	5.24	74.20	20.56	0.532
2.15	2.148	4.35	75.15	20.50	0.533
2.16	2.158	3.46	76.09	20.44	0.533
2.17	2.168	2.59	77.03	20.39	0.533
2.18	2.178	1.72	77.95	20.33	0.533
2.19	2.188	0.85	78.87	20.28	0.534
2.20	2.198	0.00	79.78	20.22	0.534

Tabla 4 UNIDADES DE CAMPO. Índice de hidrógeno para mezclas estándar de formiatos de potasio y de cesio, compuestas de formiato de potasio de 1.57 g.e. (13.090 ppg) y formiato de cesio 2.20 g.e. (18.342 ppg).

Densidad [ppg]	Densidad [kg/l]	% en peso de KFo	% en peso de CsFo	% en peso de H_2O	Índice de hidrógeno
13.090	**1.569**	75.04	0.00	24.96	0.518
13.1	**1.570**	74.84	0.21	24.95	0.518
13.2	**1.582**	72.86	2.32	24.82	0.518
13.3	**1.594**	70.90	4.40	24.70	0.519
13.4	**1.606**	68.98	6.45	24.58	0.519
13.5	**1.618**	67.08	8.46	24.46	0.519
13.6	**1.630**	65.21	10.45	24.34	0.520
13.7	**1.642**	63.37	12.40	24.22	0.520
13.8	**1.654**	61.56	14.33	24.11	0.520
13.9	**1.666**	59.77	16.23	23.99	0.520
14.0	**1.678**	58.01	18.11	23.88	0.521
14.1	**1.690**	56.27	19.96	23.77	0.521
14.2	**1.702**	54.56	21.78	23.67	0.521
14.3	**1.714**	52.87	23.57	23.56	0.522
14.4	**1.726**	51.20	25.34	23.45	0.522
14.5	**1.737**	49.56	27.09	23.35	0.522
14.6	**1.749**	47.94	28.81	23.25	0.523
14.7	**1.761**	46.34	30.51	23.15	0.523
14.8	**1.773**	44.76	32.19	23.05	0.523
14.9	**1.785**	43.21	33.84	22.95	0.523
15.0	**1.797**	41.67	35.47	22.85	0.524
15.1	**1.809**	40.16	37.08	22.76	0.524
15.2	**1.821**	38.66	38.67	22.66	0.524
15.3	**1.833**	37.19	40.24	22.57	0.525
15.4	**1.845**	35.73	41.79	22.48	0.525
15.5	**1.857**	34.30	43.32	22.39	0.525
15.6	**1.869**	32.88	44.83	22.30	0.526
15.7	**1.881**	31.48	46.31	22.21	0.526
15.8	**1.893**	30.09	47.78	22.12	0.526
15.9	**1.905**	28.73	49.24	22.04	0.526
16.0	**1.917**	27.38	50.67	21.95	0.527
16.1	**1.929**	26.05	52.09	21.87	0.527
16.2	**1.941**	24.73	53.48	21.78	0.527
16.3	**1.953**	23.43	54.87	21.70	0.528
16.4	**1.965**	22.15	56.23	21.62	0.528
16.5	**1.977**	20.88	57.58	21.54	0.528
16.6	**1.989**	19.63	58.91	21.46	0.529
16.7	**2.001**	18.39	60.22	21.38	0.529
16.8	**2.013**	17.17	61.52	21.31	0.529
16.9	**2.025**	15.96	62.81	21.23	0.529
17.0	**2.037**	14.77	64.08	21.16	0.530
17.1	**2.049**	13.59	65.33	21.08	0.530
17.2	**2.061**	12.42	66.57	21.01	0.530
17.3	**2.073**	11.27	67.80	20.93	0.531
17.4	**2.085**	10.13	69.01	20.86	0.531
17.5	**2.097**	9.00	70.21	20.79	0.531
17.6	**2.109**	7.89	71.39	20.72	0.532
17.7	**2.121**	6.79	72.56	20.65	0.532
17.8	**2.133**	5.70	73.72	20.58	0.532
17.9	**2.145**	4.62	74.86	20.52	0.532
18.0	**2.157**	3.56	76.00	20.45	0.533
18.1	**2.169**	2.50	77.11	20.38	0.533
18.2	**2.181**	1.46	78.22	20.32	0.533
18.3	**2.193**	0.43	79.32	20.25	0.534
18.342	**2.198**	0.00	79.78	20.22	0.534

Tabla 5 UNIDADES MÉTRICAS. Índice de hidrógeno para mezclas diluidas de formiatos de potasio y de cesio, compuestas de formiato de potasio de 1.54 g.e. y formiato de cesio de 2.20 g.e.

g.e.	Densidad [kg/l]	% en peso de KFo	% en peso de CsFo	% en peso de H_2O	Índice de hidrógeno
1.54	1.539	72.04	0.00	27.96	0.549
1.55	1.549	70.49	1.72	27.79	0.549
1.56	1.559	68.96	3.41	27.63	0.549
1.57	1.568	67.45	5.08	27.46	0.549
1.58	1.578	65.96	6.73	27.30	0.548
1.59	1.588	64.49	8.36	27.15	0.548
1.60	1.598	63.04	9.97	26.99	0.548
1.61	1.608	61.60	11.56	26.84	0.548
1.62	1.618	60.18	13.13	26.68	0.547
1.63	1.628	58.78	14.68	26.53	0.547
1.64	1.638	57.40	16.21	26.39	0.547
1.65	1.648	56.03	17.73	26.24	0.547
1.66	1.658	54.68	19.22	26.09	0.547
1.67	1.668	53.35	20.70	25.95	0.546
1.68	1.678	52.03	22.16	25.81	0.546
1.69	1.688	50.73	23.60	25.67	0.546
1.70	1.698	49.44	25.03	25.53	0.546
1.71	1.708	48.17	26.44	25.39	0.545
1.72	1.718	46.91	27.83	25.26	0.545
1.73	1.728	45.67	29.21	25.13	0.545
1.74	1.738	44.44	30.57	24.99	0.545
1.75	1.748	43.23	31.91	24.86	0.544
1.76	1.758	42.03	33.24	24.73	0.544
1.77	1.768	40.84	34.55	24.61	0.544
1.78	1.778	39.66	35.85	24.48	0.544
1.79	1.788	38.50	37.14	24.36	0.543
1.80	1.798	37.36	38.41	24.23	0.543
1.81	1.808	36.22	39.67	24.11	0.543
1.82	1.818	35.10	40.91	23.99	0.543
1.83	1.828	33.99	42.14	23.87	0.543
1.84	1.838	32.89	43.36	23.75	0.542
1.85	1.848	31.80	44.56	23.64	0.542
1.86	1.858	30.73	45.75	23.52	0.542
1.87	1.868	29.66	46.93	23.41	0.542
1.88	1.878	28.61	48.09	23.30	0.541
1.89	1.888	27.57	49.24	23.18	0.541
1.90	1.898	26.54	50.38	23.07	0.541
1.91	1.908	25.52	51.51	22.96	0.541
1.92	1.918	24.51	52.63	22.86	0.540
1.93	1.928	23.52	53.74	22.75	0.540
1.94	1.938	22.53	54.83	22.64	0.540
1.95	1.948	21.55	55.91	22.54	0.540
1.96	1.958	20.58	56.98	22.43	0.539
1.97	1.968	19.63	58.04	22.33	0.539
1.98	1.978	18.68	59.09	22.23	0.539
1.99	1.988	17.74	60.13	22.13	0.539
2.00	1.998	16.81	61.16	22.03	0.538
2.01	2.008	15.89	62.18	21.93	0.538
2.02	2.018	14.98	63.19	21.83	0.538
2.03	2.028	14.08	64.19	21.74	0.538
2.04	2.038	13.18	65.18	21.64	0.538
2.05	2.048	12.30	66.16	21.54	0.537
2.06	2.058	11.42	67.13	21.45	0.537
2.07	2.068	10.56	68.09	21.36	0.537
2.08	2.078	9.70	69.04	21.26	0.537
2.09	2.088	8.85	69.98	21.17	0.536
2.10	2.098	8.00	70.91	21.08	0.536
2.11	2.108	7.17	71.84	20.99	0.536
2.12	2.118	6.34	72.75	20.90	0.536
2.13	2.128	5.52	73.66	20.82	0.535
2.14	2.138	4.71	74.56	20.73	0.535
2.15	2.148	3.91	75.45	20.64	0.535
2.16	2.158	3.11	76.33	20.56	0.535
2.17	2.168	2.32	77.20	20.47	0.534
2.18	2.178	1.54	78.07	20.39	0.534
2.19	2.188	0.77	78.93	20.31	0.534
2.20	2.198	0.00	79.78	20.22	0.534

Tabla 6 UNIDADES DE CAMPO. Índice de hidrógeno para mezclas diluidas de formiatos de potasio y de cesio, compuestas de formiato de potasio de 1.54 g.e. (12.840 ppg) y formiato de cesio, 2.20 g.e. (18.342 ppg).

Densidad [ppg]	Densidad [kg/l]	% en peso de KFo	% en peso de CsFo	% en peso de H_2O	Índice de hidrógeno
12.840	1.539	72.05	0.00	27.95	0.549
12.9	1.546	70.93	1.24	27.83	0.549
13.0	1.558	69.09	3.27	27.63	0.549
13.1	1.570	67.28	5.28	27.44	0.549
13.2	1.582	65.50	7.25	27.25	0.548
13.3	1.594	63.74	9.20	27.06	0.548
13.4	1.606	62.01	11.11	26.88	0.548
13.5	1.618	60.31	13.00	26.69	0.547
13.6	1.630	58.63	14.86	26.51	0.547
13.7	1.642	56.97	16.69	26.33	0.547
13.8	1.654	55.34	18.50	26.16	0.547
13.9	1.666	53.73	20.28	25.99	0.546
14.0	1.678	52.15	22.04	25.82	0.546
14.1	1.690	50.59	23.76	25.65	0.546
14.2	1.702	49.05	25.47	25.48	0.545
14.3	1.714	47.53	27.15	25.32	0.545
14.4	1.726	46.03	28.81	25.16	0.545
14.5	1.737	44.55	30.45	25.00	0.545
14.6	1.749	43.10	32.06	24.85	0.544
14.7	1.761	41.66	33.65	24.69	0.544
14.8	1.773	40.24	35.22	24.54	0.544
14.9	1.785	38.84	36.77	24.39	0.543
15.0	1.797	37.46	38.30	24.24	0.543
15.1	1.809	36.10	39.80	24.10	0.543
15.2	1.821	34.76	41.29	23.95	0.543
15.3	1.833	33.43	42.76	23.81	0.542
15.4	1.845	32.12	44.21	23.67	0.542
15.5	1.857	30.83	45.64	23.53	0.542
15.6	1.869	29.56	47.05	23.39	0.542
15.7	1.881	28.30	48.45	23.26	0.541
15.8	1.893	27.05	49.82	23.13	0.541
15.9	1.905	25.83	51.18	22.99	0.541
16.0	1.917	24.61	52.52	22.86	0.540
16.1	1.929	23.42	53.85	22.74	0.540
16.2	1.941	22.23	55.16	22.61	0.540
16.3	1.953	21.07	56.45	22.48	0.540
16.4	1.965	19.91	57.73	22.36	0.539
16.5	1.977	18.77	58.99	22.24	0.539
16.6	1.989	17.65	60.24	22.12	0.539
16.7	2.001	16.53	61.47	22.00	0.538
16.8	2.013	15.43	62.69	21.88	0.538
16.9	2.025	14.35	63.89	21.76	0.538
17.0	2.037	13.28	65.08	21.65	0.538
17.1	2.049	12.21	66.25	21.53	0.537
17.2	2.061	11.17	67.41	21.42	0.537
17.3	2.073	10.13	68.56	21.31	0.537
17.4	2.085	9.10	69.69	21.20	0.536
17.5	2.097	8.09	70.82	21.09	0.536
17.6	2.109	7.09	71.92	20.98	0.536
17.7	2.121	6.10	73.02	20.88	0.536
17.8	2.133	5.12	74.10	20.77	0.535
17.9	2.145	4.15	75.18	20.67	0.535
18.0	2.157	3.20	76.24	20.57	0.535
18.1	2.169	2.25	77.28	20.47	0.534
18.2	2.181	1.31	78.32	20.36	0.534
18.3	2.193	0.39	79.35	20.27	0.534
18.342	2.198	0.00	79.78	20.22	0.534

A9.4 Velocidad sónica

La velocidad sónica es una propiedad importante para el perfilaje. Son muy pocos los datos sónicos disponibles sobre salmueras de formiatos en la literatura abierta. Los datos de velocidad sónica disponibles para algunas salmueras de formiatos se enumeran en la tabla 7. Estos datos se tomaron de fuentes diversas y podrían no ser precisos.

Tabla 7 Velocidad sónica para tres composiciones típicas de formiatos.

Tipo de salmuera	Densidad		Temperatura		Presión		Velocidad sónica		Composición
	g.e.	ppg	°C	°F	Pa	[psi]	[m/s]	[pies/s]	
NaFo	1.28	10.7	20	68			1,880	6,168	
KFo	1.53	12.8	20	68			1,960	6,430	
KFo	1.57	13.1	20	68	689	100	1,951	6,402	76% KFo
CsKFo	1.65	13.8	23.9	75	689	100	1,895	6,218	14.36% Cs / 85.63% K, 14.366 / 85.634 ml, 30.45 / 134.44 g
CsFo	2.30	19.2	20	68			1,550	5,085	
CsFo	2.30	19.2	20	68	689	100	1,580	5,185	83% CsFo

Referencias

[1] Pedersen, B.K.: “Understanding the Effects of Cesium / Potassium Formate Fluid on Well Log Response – A Case Study on the Kristin and Kvitebjørn Fields, Offshore Norway”, SPE 103067, septiembre de 2006.

[2] Galford, J. et al: “Borehole and Formation Invasion Effects of Formate-Based Mud Systems on Nuclear Logs”, SPWLA 46th Annual Logging Symposium, junio de 2005.

[3] Pinhjun G., et al: “Interpretation of nuclear logs in formate-based drilling fluids in a North Sea well”, SPWLA 43rd Annual Logging Symposium, junio de 2002.

[4] “Resistivity Measurements in Formate Fluids”, informe N° LR-212, Operations and Technical Support Laboratory, en Aberdeen, Reino Unido, abril de 2007.